

## CAPACITOR MICROPHONE, ITS MANUFACTURING METHOD, AND VOICE INPUT UNIT

Publication number: JP2002095093

Publication date: 2002-03-29

Inventor: KAMISUKE SHINICHI

Applicant: SEIKO EPSON CORP

Classification:

- international: **H04R19/04; H04R31/00; H04R19/00; H04R31/00;**  
(IPC1-7): H04R19/04; H04R31/00

- european:

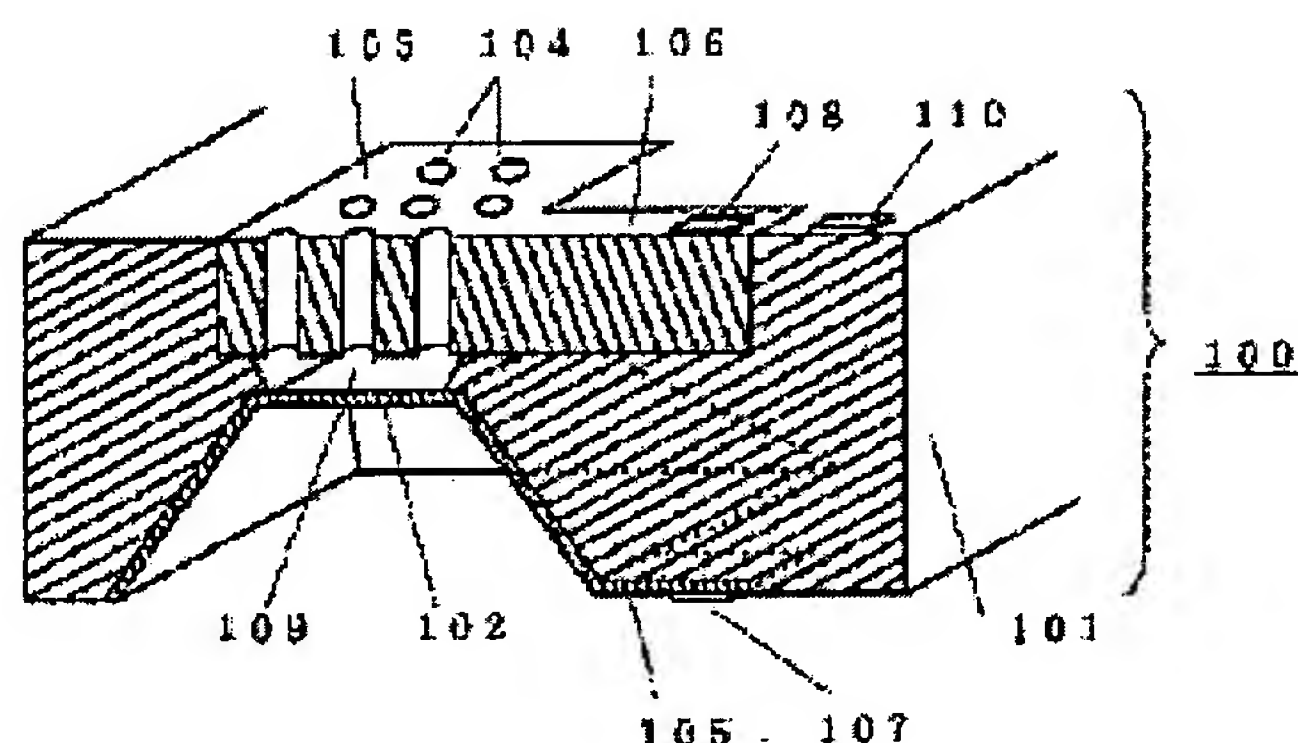
Application number: JP20000277213 20000912

Priority number(s): JP20000277213 20000912

Report a data error here

### Abstract of JP2002095093

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a capacitor microphone which is improved in characteristics by properly regulating the internal stress of a diaphragm and further improving the thickness accuracy of the diaphragm. **SOLUTION:** This manufacturing method comprises a step of providing a recess of prescribed depth to the rear of a single crystal silicon substrate 101 of (100) plane orientation, a step of forming a doping mask corresponding to a back plate on the front surface of the silicon substrate 101, a step of selectively doping the exposed silicon surface of the silicon substrate 101 with boron of high concentration, a step of doping the bottom of the recess with boron of high concentration, and a step of dry-etching the silicon substrate from above the front surface and then etching it with alkaline solution.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-95093

(P2002-95093A)

(43) 公開日 平成14年3月29日 (2002.3.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマト\* (参考)

H 0 4 R 19/04

H 0 4 R 19/04

5 D 0 2 1

31/00

31/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-277213 (P2000-277213)

(22) 出願日 平成12年9月12日 (2000.9.12)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 紙透 真一

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅彦 (外1名)

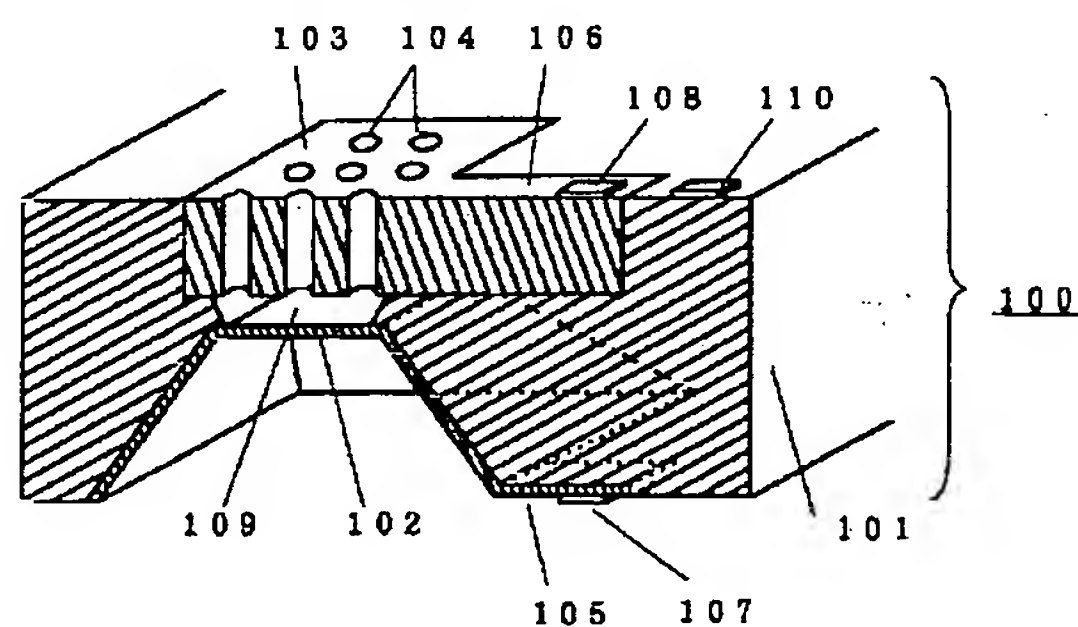
Fターム(参考) 5D021 CC19 CC20

(54) 【発明の名称】 コンデンサマイクロホンおよびその製造方法および音声入力装置

(57) 【要約】

【課題】 ダイアフラムの内部応力を適正に調整し、かつ、ダイアフラム膜厚を高精度化することにより、特性の優れたコンデンサマイクロホンを提供する。

【解決手段】 (100) 面方位の単結晶シリコン基板101の裏面に所定深さの凹部を形成する工程と、該シリコン基板の表面にバックプレートに対応したドープマスクを形成する工程と、該シリコン基板の表面のシリコンが露出している部分に選択的に高濃度にホウ素をドーピングする工程と、前記凹部の少なくとも底面に高濃度にホウ素をドーピングする工程と、該シリコン基板の表面側からドライエッチングおよびアルカリ液によるエッチングを行う工程とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単結晶シリコン基板にコンデンサを形成するように形成された一対の電極を有し、一方の電極は他方の電極に対して可動状態にあるダイヤフラムであり、前記他方の電極は複数個の貫通穴が形成されたバックプレートであるコンデンサマイクロホンにおいて、前記ダイヤフラムおよびバックプレートは前記単結晶シリコン基板の一部からなり、かつホウ素がドーピングされていることを特徴とするコンデンサマイクロホン。

【請求項2】 前記ダイヤフラムは前記バックプレートに比べて厚みが薄いことを特徴とする請求項1記載のコンデンサマイクロホン。

【請求項3】 前記単結晶シリコン基板は(100)面方位または(110)面方位であることを特徴とする請求項1または2記載のコンデンサマイクロホン。

【請求項4】 前記単結晶シリコン基板はn型ドーパ基板であることを特徴とする請求項3記載のコンデンサマイクロホン。

【請求項5】 単結晶シリコン基板にコンデンサを形成するように形成された一対の電極を有し、一方の電極は他方の電極に対して可動状態にあるダイヤフラムであり、前記他方の電極は複数個の貫通穴が形成されたバックプレートであるコンデンサマイクロホンの製造方法において、(a)前記単結晶シリコン基板の一方の面に異方性エッチングにより、所定深さの凹部を形成する工程と、(b)前記単結晶シリコン基板の他方の面に少なくとも前記バックプレート相当部が開口部となっているドーパマスクを形成する工程と、(c)前記単結晶シリコン基板の他方の面のシリコンが露出した部分に所定深さまでホウ素を高濃度にドーパする工程と、(d)前記凹部の側壁および底面および前記単結晶シリコン基板の一方の面の一部に所定深さまでホウ素を高濃度にドーパする工程と、(e)前記単結晶シリコン基板の他方の面側からエッチングにより前記貫通穴相当部を除去する工程と、(f)前記単結晶シリコン基板の他方の面側からエッチングを行うことにより、ホウ素を高濃度にドーパした箇所以外のシリコンを部分的に除去する工程とからなることを特徴とするコンデンサマイクロホンの製造方法。

【請求項6】 請求項5記載のコンデンサマイクロホンの製造方法において、前記ホウ素のドーパ方法が熱拡散法またはイオン打ち込み法によることを特徴とするコンデンサマイクロホンの製造方法。

【請求項7】 請求項1乃至4のいずれかに記載のコンデンサマイクロホンを内蔵することを特徴とする音声入力装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は補聴器等への音声入力に用いられる小型コンデンサマイクロホンおよびその

製造方法および補聴器等の音声入力装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 音声入力素子としての小型マイクロホンは現在主に補聴器に用いられている。今後の長寿社会ではますますその需要が増大するものと考えられるが、その需要に応えるためには、小型マイクロホンには今後さらなる小型化、低消費電力化が求められている。一方、シリコンマイクロマシニング技術は、半導体加工技術を用いてシリコン基板を加工し微細・高精度な3次元構造・装置を作製する技術で、超小型のセンサやインクジェットヘッドなどの製造に必要不可欠な技術である。マイクロホンを小型化するという観点でも、近年多くの研究者がマイクロマシニング技術を駆使して小型マイクロホンの研究開発を行っている。従来の小型コンデンサマイクロホンとしては、たとえば、「A HIGH SENSITIVITY POLYSILICON DIAPHRAGM CONDENSER MICROPHONE」Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems、1998、580-585ページに記載されているように、Hsuらはシリコン基板上に、ポリシリコン薄膜からなるダイヤフラムと、ホウ素の高濃度ドーパおよび選択エッチングにより形成されるバックプレートからなるコンデンサを検知部とした小型の高性能コンデンサマイクロホンの製造技術を開示している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の小型マイクロホンでは、以下に述べるような課題があった。Hsuらによるマイクロホンでは、減圧CVD方式によって形成されたポリシリコン膜をダイヤフラムとしている。一般にポリシリコン膜の内部応力は調整可能ではあるが、それをダイヤフラムとして問題ない状態に管理、制御することは困難を伴う。また、大量生産する場合にマイクロホンチップ間でのポリシリコン膜厚の均一性を管理、制御することも大変な困難を伴う。また、ポリシリコン膜は単結晶シリコン膜に比べて機械的強度が劣るため、長期間の振動運動をさせる場合、強度劣化の恐れがある。さらに、モノシラン( $\text{SiH}_4$ )などの危険なガスを用いて、減圧CVD等の方式によってポリシリコン膜を形成する場合、モノシランガスの安全管理やCVD処理後の排ガスの無害化等の付随的実施項目が生じ、望ましくないという課題もある。

【0004】 そこで、本発明は、上記したような課題を解決するもので、その目的とするところは、モノシランのような危険なガスを用いることなく、内部応力が適正に調整され、チップ間での膜厚が一定で、機械強度に優れるダイヤフラムを備えた小型のコンデンサマイクロホンを提供することにある。

【0005】 また、本発明の別の目的は、このコンデンサマイクロホンを備えた優れた性能の音声入力装置を提

供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1のコンデンサマイクロホンは、単結晶シリコン基板にコンデンサを形成するように形成された一対の電極を有し、一方の電極は他方の電極に対して可動状態にあるダイヤフラムであり、前記他方の電極は複数の貫通穴が形成されたバックプレートであるコンデンサマイクロホンにおいて、前記ダイヤフラムおよびバックプレートは前記単結晶シリコン基板の一部からなり、かつホウ素がドーピングされている。

【0007】このため、請求項1のコンデンサマイクロホンは、高濃度にホウ素をドーピングさせた単結晶シリコンからなるダイヤフラムおよびバックプレートからなるため、ダイヤフラムの残留応力を適正とすることができ、優れた特性を有するという効果を有する。

【0008】請求項2のコンデンサマイクロホンは、前記ダイヤフラムは前記バックプレートに比べて厚みが薄いことを特徴とする。

【0009】このため、請求項2のコンデンサマイクロホンは、音源からの音圧を受ける際にダイヤフラムのみが音圧に従って振動し、この振動に従って生じるコンデンサ容量の変化に応じた信号を出力できるという効果を有する。

【0010】請求項3のコンデンサマイクロホンは、請求項1または2記載のコンデンサマイクロホンにおいて、前記単結晶シリコン基板は(100)面方位または(110)面方位であることを特徴とする。

【0011】このため、請求項3のコンデンサマイクロホンは、異方性エッチングにより高精度に形成された凹部底面がダイヤフラムとなるため、寸法精度が高いダイヤフラムを有することができ、従って設計どおりのコンデンサマイクロホンが再現よく製造されるという効果を有する。

【0012】請求項4のコンデンサマイクロホンは、前記単結晶シリコン基板がn型ドーピング基板であることを特徴とする。

【0013】このため、請求項4のコンデンサマイクロホンでは、前記ダイヤフラムと前記バックプレートは互いに電氣的に分離できるため、ダイヤフラムおよびバックプレートからなるコンデンサへのバイアス電圧の印加やコンデンサマイクロホンが音圧を受けたときの電気容量変化に応じた電気信号の出力が可能となるという効果を有する。

【0014】請求項5の方法は、請求項1ないし4記載のコンデンサマイクロホンの製造方法において、(a)前記単結晶シリコン基板の裏面にアルカリ異方性エッチングにより、所定深さの凹部を形成する工程と、(b)前記単結晶シリコン基板の表面に少なくとも前記バックプレート相当部が開口部となっているドーピングマスクを形

成する工程と、(c)前記単結晶シリコン基板の表面のシリコンが露出した部分に所定深さまでホウ素を高濃度にドーピングする工程と、(d)前記凹部の側壁および底面および前記単結晶シリコン基板の裏面の一部に所定深さまでホウ素を高濃度にドーピングする工程と、(e)前記単結晶シリコン基板の表面側からドライエッチングにより前記貫通穴相当部を除去する工程と、(f)前記単結晶シリコン基板の表面側からアルカリ液によるエッチングを行うことにより、ホウ素を高濃度にドーピングした箇所以外のシリコンを部分的に除去する工程とからなることを特徴とする。

【0015】このため、請求項5の方法は、ホウ素の高濃度ドーピングとアルカリエッチングによる高精度なエッチストップにより形成される高精度なダイヤフラムとバックプレートを有するコンデンサマイクロホンを形成することができるという効果を有する。

【0016】請求項6の方法は、請求項5記載のコンデンサマイクロホンの製造方法において、前記ホウ素のドーピング方法が熱拡散法またはイオン打ち込み法によることを特徴とする。

【0017】このため、請求項6の方法はアルカリエッチングによりダイヤフラムおよびバックプレート以外の不要部をエッチング除去する際に、ダイヤフラムおよびバックプレートとなる部分でのエッチストップ現象を確実に生じせしめ、従って高精度なダイヤフラムとバックプレートを有するコンデンサマイクロホンを形成することができるという効果を有する。

【0018】請求項7の音声入力装置は、請求項1乃至4のいずれかに記載のコンデンサマイクロホンを有することを特徴とする。

【0019】このため、請求項7の音声入力装置は、請求項1乃至4のいずれかに記載のコンデンサマイクロホンが有する効果を備えるという効果を有する。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例に基づき詳細に説明する。

【0021】(実施例1)図1は実施例1におけるマイクロホン100の断面斜視図である。実施例1におけるマイクロホン100はダイヤフラム102やバックプレート103等のマイクロホンを構成するに必要な構造体をすべてn型伝導の単結晶シリコン基板101上に一体で形成されてなる構造を有している。

【0022】マイクロホン100となる単結晶シリコン基板101はたとえば4インチ径のシリコンウェハ上に多数形成されたものを最終的にダイシング等の手段で分離されて完成するが、その大きさは一辺2mm四方で厚みは500 $\mu$ mである。単結晶シリコン基板の裏面側には所定のアルカリ異方性エッチングにより形成された凹部の底部に相当するところに厚み1.0 $\mu$ m、一辺1mmの正方形のダイヤフラム102とこれに連なる下部配



線105および下部パッド107が形成されている。また、単結晶シリコン基板の表面側には直径 $50\mu\text{m}$ の円形の音響ホール104が多数形成された厚み $14\mu\text{m}$ 、一辺 $1\text{mm}$ の正形状のバックプレート103とこれに連なる上部配線106および上部パッド108が形成されている。ダイヤフラム102とバックプレート103とは距離 $3\mu\text{m}$ の空隙109を隔てて互いに平行に形成されている。また、単結晶シリコン基板の表面側には、接地電極110が形成されている。

【0023】図2は、実施例1のマイクロホン100の製造工程図であり、単結晶シリコン基板の裏面側にダイヤフラムを形成するための凹部の形成およびホウ素の高濃度ドーピング用マスクの形成を行う第1の工程(a~c)と、単結晶シリコン基板の表面側にバックプレートを形成するためのホウ素の高濃度ドーピング用マスクの形成を行う第2の工程(d)と、単結晶シリコン基板の表面側および裏面側から所定量のホウ素ドーピングを行う第3の工程(e)と、ドライエッチングにより音響ホールを形成し、アルカリエッチングによりバックプレート、ダイヤフラムおよび間隙を形成し、最後に電極を形成する第4の工程(f~i)とを有している。

【0024】(第1の工程: 図2(a~c)) 直径4インチの単結晶シリコン基板101((100)結晶面方位、n型、厚み $500\mu\text{m}$ )を熱酸化してその両面にエッチングおよびドーピング用マスクとなる厚み $1\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 膜を形成した後、単結晶シリコン基板101の裏面側の $\text{SiO}_2$ 膜202を凹部204および下部配線105に相当するパターンに加工する(図2(a))。その際、下部配線に対応する箇所は $\text{SiO}_2$ 膜202が約半分程度の膜厚になるようハーフエッチングする。ついで、アルカリ性のエッチング液、たとえば、TMAH(テトラメチルアンモニウムハイドロキシド)の水溶液(25%、 $80^\circ\text{C}$ )にて露出しているシリコン部分をエッチングする(図2(b))。エッチング深さとしては、凹部204の底部の厚みが $18\mu\text{m}$ となるところまでエッチングを行う。次いで、単結晶シリコン基板101をフッ酸系エッチング液で処理し、 $\text{SiO}_2$ 膜202のうち下部配線105に相当する部分を除去する(図2(c))。

【0025】(第2の工程: 図2(d)) 単結晶シリコン基板101の表面側にホウ素をドーピングするためのマスクを形成する。図2(c)の状態では、シリコン基板101の表面側の $\text{SiO}_2$ 膜203の厚みは約 $0.3\mu\text{m}$ と薄いため、ホウ素の選択的ドーピングのためには不十分である。そこで、まず、TEOS(テトラエトキシシラン)を用いたプラズマCVDにより、 $\text{SiO}_2$ を堆積して $\text{SiO}_2$ 膜203の厚みが $2\mu\text{m}$ となるようにする。ついで、これをバックプレート103および上部配線106に相当するパターンに加工する。

【0026】(第3の工程: 図2(e)) 初めに、第1

のドーピングとして単結晶シリコン基板の表面側からのドーピングを行う。図示しない固体のホウ素拡散源を単結晶シリコン基板に対向配置し、 $1175^\circ\text{C}$ で15時間の熱処理を行う。この処理により、 $\text{SiO}_2$ 膜203の開口部から深さ $13\mu\text{m}$ の領域まで高濃度(濃度 $5\times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上)のホウ素がドーピングされる。ドーピングは、イオン打ち込み法や液体拡散源を用いる方法(3臭化ホウ素等を用いる)によっても同様の処理が可能である。次に第2のドーピングとして単結晶シリコン基板101の裏面側からのドーピングを行う。同様に固体のホウ素拡散源を単結晶シリコン基板裏面側に対向配置し、 $1050^\circ\text{C}$ で9時間の熱処理を行う。この処理により、 $\text{SiO}_2$ 膜202の開口部から深さ $1.0\mu\text{m}$ の領域まで高濃度(濃度 $5\times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上)にホウ素がドーピングがされる。その際、単結晶シリコン基板表面側のすでにホウ素がドーピングされている部分では、ホウ素は熱により拡散されて、結果として拡散深さは $13\mu\text{m}$ から $14\mu\text{m}$ へと増加した。

【0027】(第4の工程: 図2(f~i)) 第4の工程では、バックプレートに音響ホールを形成し、次いで、ダイヤフラムとバックプレートが互いに所定の空隙距離を持ってそれぞれ所望の厚みで形成分離される。まず、表面側にドライエッチングにより音響ホール104を形成するためのレジストマスク205を形成し、次いで、ドライエッチングにより音響ホール104を形成する(図2(f))。本実施例ではレジストマスク205には音響ホールに相当する円形パターンを多数配置するが、円形パターンは、図3(a)に示すように、(100)シリコンウェハの<001>軸方向およびそれに直交する<010>軸方向に配置する。配置のピッチとしては、隣接する円形パターンの中心間距離を $28\mu\text{m}$ とした。このようなパターン配置とした理由は、後に行うアルカリエッチング工程の説明のところで述べる。また、ドライエッチングによるエッチング深さとしては、音響ホール部をすべて除去し、かつ、最終的には空隙109となるシリコン(高濃度ホウ素が拡散されていない部分)の一部がエッチングされるようにオーバーエッチする。ついで、アルカリ性のエッチング液、たとえば、TMAHの水溶液(25%、 $80^\circ\text{C}$ )中にて、引き続きエッチングを行うことにより、空隙109に相当する部分のシリコンを除去する(図2(g))。その際、アルカリによる異方性エッチングの特性からエッチングは音響ホール(直径約 $30\mu\text{m}$ の円形状)に外接する正方形の形状にアンダーエッチが進行し(図3(b))、最終的には、前記正方形を底面とした、側面が(111)面である逆ピラミッド形状の凹部が形成される。その際、前述したように、音響ホールは中心間距離 $28\mu\text{m}$ で配置されているため、逆ピラミッド形状の凹部の底面の4つの頂点は<110>軸方向において $2\mu\text{m}$ オーバーラップするため、オーバーラップすると同時にエッチングは図

3(c)に示すAの方向へ進行し、最終的には縦方向（単結晶シリコン基板101の厚み方向）のエッチングは、ダイヤフラム102となるべき高濃度ホウ素ドーピング部が露出したところで自動的に停止し、また、横方向には、空隙109に相当するシリコンが除去され、音響ホールが配置された領域の最外周部に形成されるエッチング速度の低い(111)シリコン結晶面が露出したところで自動的に停止する。このとき、第3の工程で、ダイヤフラム102となるべき箇所およびバックプレート103となるべき箇所へのホウ素ドーピングは前述したような条件で実施しているため、本エッチングによりダイヤフラムおよびバックプレートはそれぞれ厚み1 $\mu$ mおよび14 $\mu$ mで仕上がっている。ついで、SiO<sub>2</sub>膜202および203をフッ酸系エッチング液にてすべて除去し(図2(h))、最後に上部パッド108、下部パッド107および接地をとるためのパッド110を形成する。パッド材質は、アルミニウムまたは金等の金属で形成する。

【0028】上記した工程で完成したマイクロホン100では、ダイヤフラム102は高濃度ホウ素がドーピングされた単結晶シリコンからなるために適度な引張り応力を有し、すなわちたわみがなく形成されている。そのため、バックプレート103との距離（空隙109の厚み）は一定である。また、本実施例のマイクロホンはマイクロマシニングにより作製されているため、ダイヤフラムおよびバックプレートの各部寸法（幅、長さ、厚み、音響ホールの形状、寸法および配置）も設計どおりに形成されている。コンデンサマイクロホンにとって空隙距離や各部寸法が一定であることは重要であり、このことにより、出力が安定したマイクロホンが実現できた。また、上述したようにダイヤフラム102の厚みはバックプレート103の厚みに対して非常に薄く、また、バックプレートには適当な形状、寸法の音響ホールが適当に配置されているため、ダイヤフラムが音源より音圧を受けた場合、ダイヤフラムのみがこれに応じて振動、変形し、ダイヤフラムとバックプレート間の静電容量変化が信号として出力される。本実施例の場合では、音響ホール形状については、円柱形状の場合について述べたが、音響ホールとしての音響特性が最適に設計されていれば、四角柱形状であっても同様にマイクロホンの形成が出来る。

【0029】（実施例2）本実施例は、単結晶シリコン基板101として、(100)面方位の単結晶シリコン基板に代えて(110)面方位のn型単結晶シリコン基板を用いるものである。図4に本発明の第1の実施例における(100)面方位の単結晶シリコンを用いた場合(図4(a))と(110)面方位の単結晶シリコン基板を用いた場合(図4(b))の凹部の形状を比較して示す。前記第2の工程で、アルカリ性のエッチング液を用いたエッチングにより凹部204を形成するが上記のい

ずれの場合でもエッチング速度の低い(111)シリコン結晶面が側壁となっている。(100)シリコン基板の場合は、凹部204の表面は単結晶シリコン基板表面に対して54.7度をなす4つの(111)面302と(100)面である底面303からなり、他方、(110)シリコン基板の場合は、凹部204の表面はシリコン基板表面に対して90度をなす4つの(111)面304、同じく35度をなす2つの(111)面305および(110)面である底面306からなる。いずれの場合においても、アルカリ液を用いたエッチングによりエッチングマスク形状を基準にした精度の高い凹部204の形状が実現されている。実施例2では、単結晶シリコン基板101として(110)シリコン基板を用いて、第1の実施例に記した工程と同一の工程を行うことにより第1の実施例の場合と同様の性能のコンデンサマイクロホンが作製できる。

【0030】上述したコンデンサマイクロホン100を備える音声入力機器として、図5に補聴器300の斜視図を示す。本発明のマイクロホン100は補聴器300の外装部材301中の点線で示す部分に、ダイヤフラムが形成されているシリコン基板裏面側が音源方向に向くようにパッケージングされる。ダイヤフラムは音源からの音圧を受け、音圧に従って変形するが、その際のダイヤフラムとバックプレートとの電気容量変化を音圧に対応した信号として取出すものである。また、前記コンデンサマイクロホンを備える音声入力機器としては、これに限らず、たとえば、携帯電話のマイク部分にも好ましく用いることができる。

【0031】

【発明の効果】以上説明したように、本発明におけるコンデンサマイクロホンおよびその製造法方によれば、内部応力が適正に調整された高精度なダイヤフラムを備え、小型で高性能なコンデンサマイクロホンが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明におけるコンデンサマイクロホンの断面斜視図。

【図2】 本発明におけるコンデンサマイクロホンの製造工程断面図。

【図3】 音響ホールの配置に関する説明図。

【図4】 凹部の形状の説明図。

【図5】 本発明における補聴器の説明図。

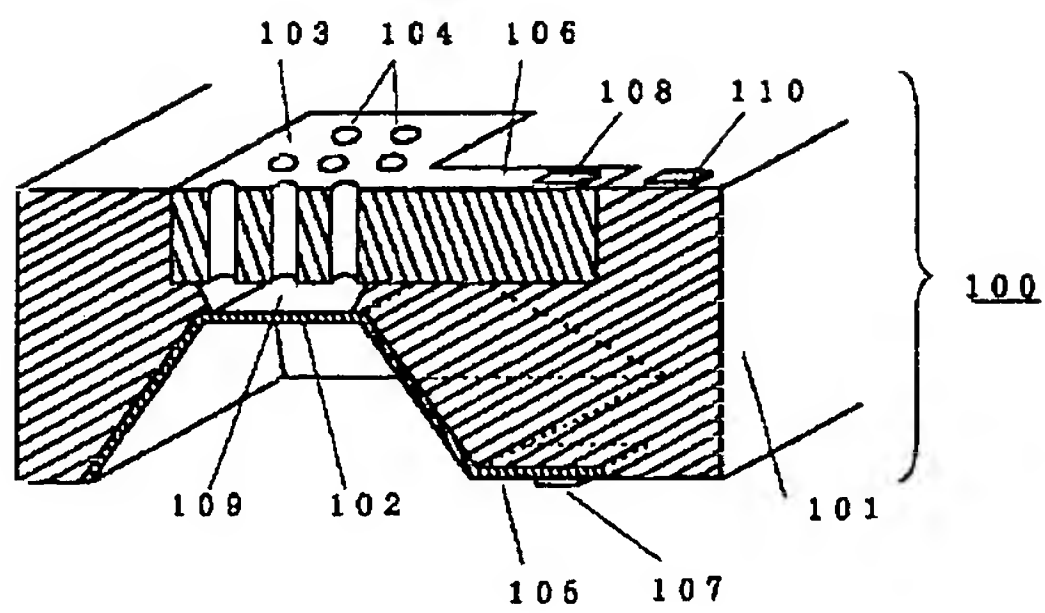
【符号の説明】

100	コンデンサマイクロホン
101	単結晶シリコン基板
102	ダイヤフラム
103	バックプレート
104	音響ホール
105	下部配線
106	上部配線

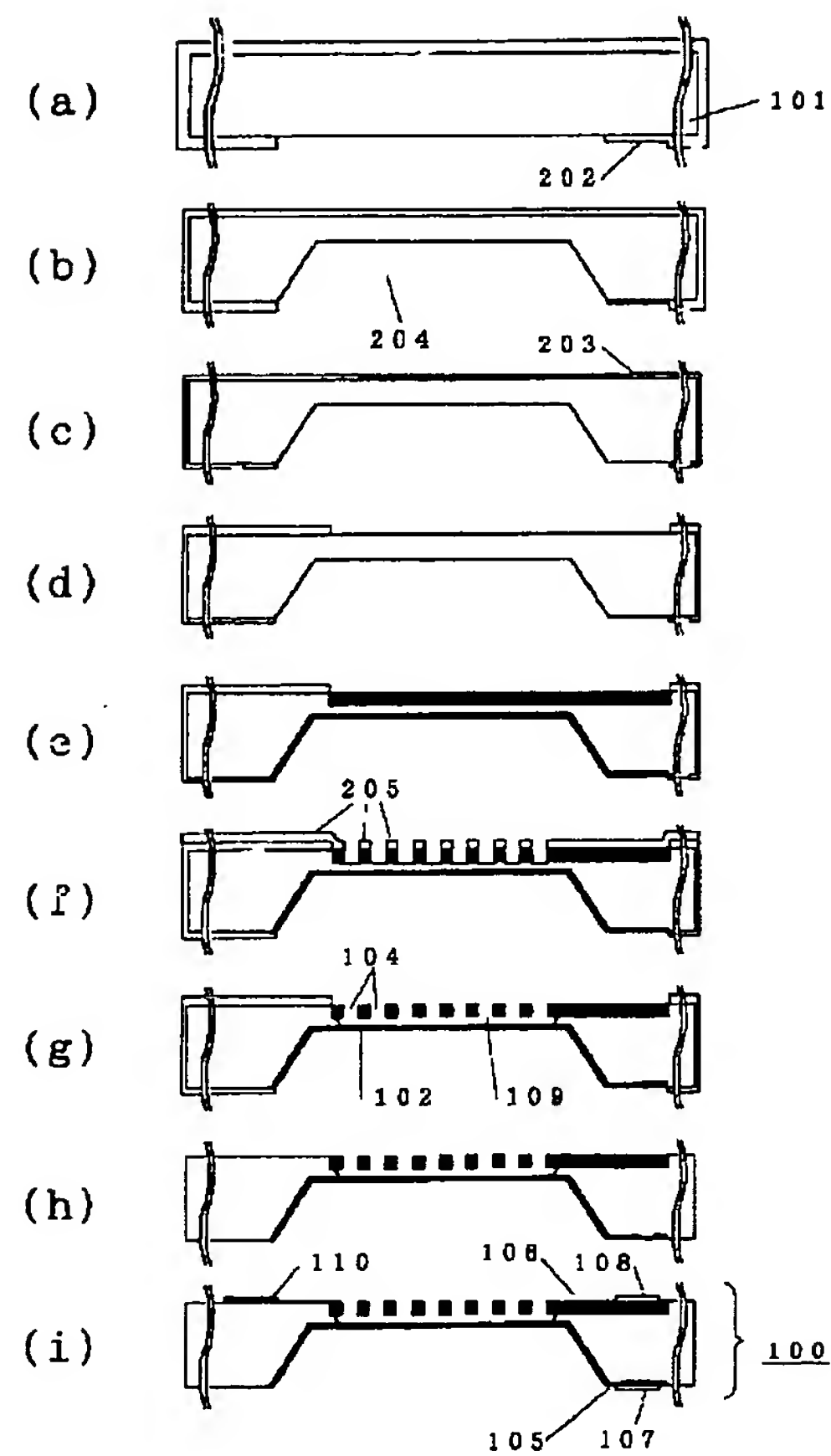
107 下部パッド  
108 上部パッド  
109 空隙  
110 接地電極  
202、203 SiO<sub>2</sub>膜

204 凹部  
205 レジストマスク  
300 補聴器  
301 外装部材

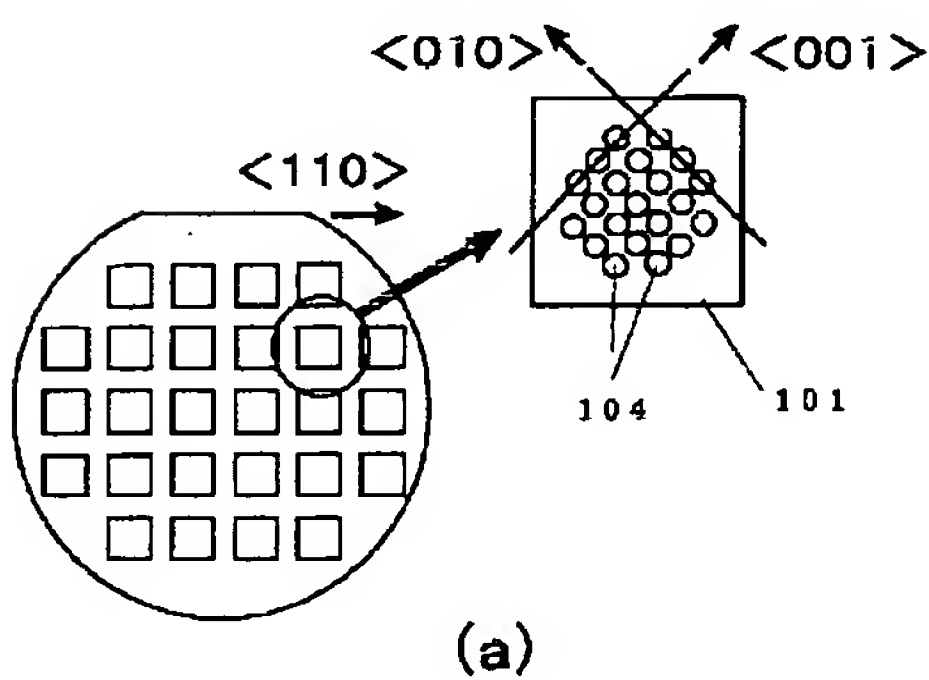
【図1】



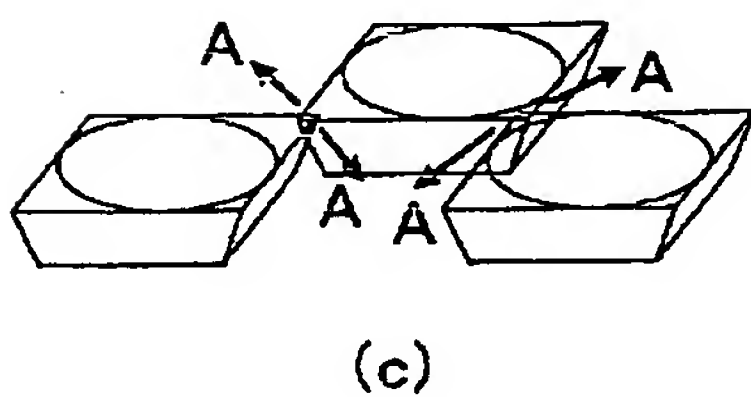
【図2】



【図3】

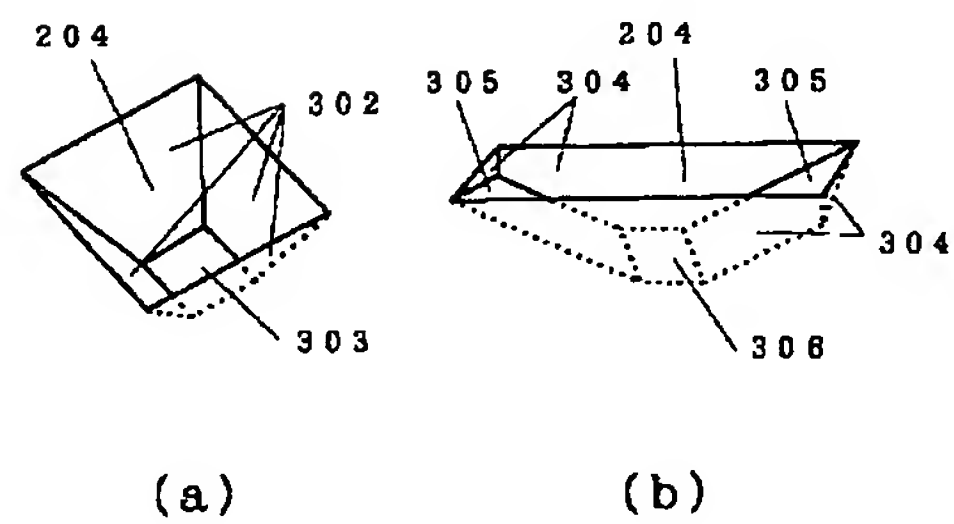


(b)



(c)

【図4】



(a)

(b)

【図5】

